



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10214176 A**(43) Date of publication of application: **11.08.98**

(51) Int. Cl

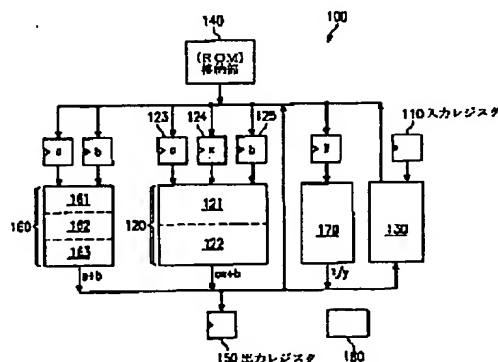
G06F 7/544(21) Application number: **09344758**(22) Date of filing: **15.12.97**(30) Priority: **17.12.96 US 96 768781**(71) Applicant: **METAFLOW TECHNOL INC**(72) Inventor: **RADICK LEONARD****(54) DEVICE FOR QUICKLY CALCULATING
TRANSCENDENTAL FUNCTION****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To quickly calculate a transcendental function by parallelly calculating the terms of a Taylor series and connecting them after parallel calculation.

SOLUTION: A floating point processing unit 100 is provided with an input register 110 for receiving an input operand and a multiplication/addition unit 120 provided with a first stage 121 and a second stage 122 for parallelly executing multiplication / addition arithmetic operations. Further, it is provided with an output register 150, an adder unit 160 provided with the first stage 161, the second stage 162 and a third stage 163 and a Newton element 170 for calculating a reciprocal. Then, the Taylor series for the transcendental function is decomposed into the two parallel series to be parallelly executed. A different Taylor series is used so as to more quickly perform convergence to a part of the range of the transcendental function. At the time, the transcendental function calculated by using the series provided with the plural pieces of the terms is computed with about 1/6 of a 'normal' time amount per term, that is about one clock

time per term in a processor for which the multiplication and addition arithmetic operations respectively require about three clock time.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-214176

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月11日

(51) Int.Cl.⁵
G 0 6 F 7/544

識別記号

F I
G 0 6 F 7/544

Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平9-344758

(22) 出願日 平成9年(1997)12月15日

(31) 優先権主張番号 08/768781

(32) 優先日 1996年12月17日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 597154081

メタフロー テクノロジーズ, インコー
ポレイテッド

METAFLOW TECHNOLOGI
ES, INC.

アメリカ合衆国, カリフォルニア
92037, ラホーラ, エグゼクティブ
スクウェア 4250, スイート 300

(72) 発明者 レオナード ラディック

アメリカ合衆国, カリフォルニア
92069-3431, サン マテオ, パルマ
ー ドライブ 1673

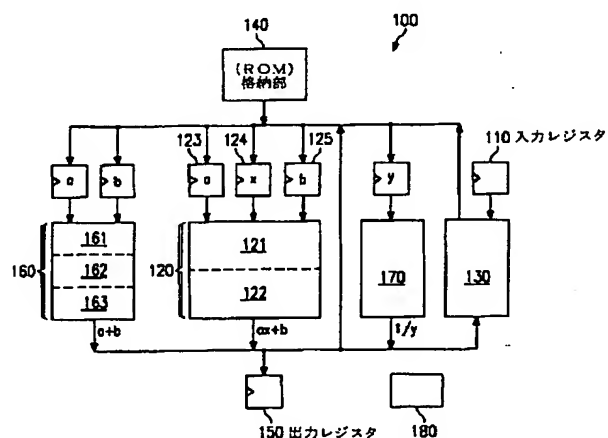
(74) 代理人 弁理士 小橋 一男 (外1名)

(54) 【発明の名称】 超越関数を迅速に計算する装置

(57) 【要約】

【課題】 超越関数を迅速に計算する装置を提供する。

【解決手段】 本発明は、超越関数を迅速に計算する方法及びシステムを提供しており、(1) 乗算ALUは積に対して項を加算すべく向上されており、(2) 中間の乗算に対する丸め処理はスキップし、且つ(3) テイラー級数を並列処理される2つの部分級数へ分割する。10個の項を有する超越関数(例えば、SIN又はCOS)は約10個のクロック時間で実施される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 超越関数を計算するシステムにおいて、乗算及び加算用の乗算・加算要素であって、一対の被乗数及び被加数に対する入力端を具備しており、出力端を具備しており、丸め処理なしで前記被乗数の積と前記被加数との加算を計算すべく配設されており且つ少なくとも2個のパイプライン段を具備している乗算・加算要素、収束級数に対し第一シーケンスの項と第二シーケンスの項とを格納するために配設されているメモリ、前記メモリから前記第一シーケンスの項を読み取り且つ前記第一シーケンスの項を表わす1組のオペランドを前記乗算・加算要素へ入力し、従って前記乗算・加算要素が前記収束級数に対する第一小合計を決定すべく動作する第一手段、前記メモリから前記第二シーケンスの項を読み取り且つ前記第二シーケンスの項を表わす1組のオペランドを前記乗算・加算要素へ入力し、従って前記乗算・加算要素が前記第一小合計と並列的に前記収束級数に対する第二小合計を決定すべく動作する第二手段、前記第一小合計と前記第二小合計とを結合させる手段、を有することを特徴とするシステム。

【請求項2】 請求項1において、前記超越関数が、 \sin , \cos , \tan , \sinh , \cosh , \tanh , \exp 又は \arctan に対する関数を包含していることを特徴とするシステム。

【請求項3】 請求項1において、前記乗算・加算要素の前記パイプライン段の第一段が、キャリイセーブアダ回路を有しており、且つ前記乗算・加算要素の前記パイプライン段の第二段がキャリイルックアヘッドアダ回路を有していることを特徴とするシステム。

【請求項4】 請求項1において、前記結合手段が加算器回路を有していることを特徴とするシステム。

【請求項5】 請求項1において、反転可能なオペランドを受け且つ前記反転可能なオペランドの逆数を決定すべく配設されている反転要素を有していることを特徴とするシステム。

【請求項6】 請求項5において、前記乗算・加算要素の前記出力の1つを前記反転可能なオペランドとして入力させる手段を有していることを特徴とするシステム。

【請求項7】 請求項1において、前記超越関数に対するオペランドを格納すべく配設されている入力レジスタ、前記入力レジスタ内に格納されている値を選択した定数値と比較すべく配設されている比較器、前記比較器の出力にตอบสนองし、前記超越関数に対する値を決定するために級数を選択する手段、を有することを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超越関数を迅速に計算する装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】テイラー級数によって超越関数を計算する場合には、一般的に、各項に対し1つの「加算」命令（それは、例えば、3つのクロック時間かかる場合がある）及び1つの「乗算」命令（それも、例えば、更に3つのクロック時間かかる場合がある）を必要とする。かなりの精度で超越関数を計算するプロセサの場合には、解の最小桁ビットよりも小さな残差を得るために多数の項を必要とする。64ビット小数を有する浮動小数点結果を与えるプロセサにおいては、通常のテイラー級数の全範囲に対し64ビット精度を達成するための項数は約10であり、乗算及び加算演算が各々約3つのクロック時間かかる場合には、これは約60クロック時間かかることとなり、それは計算資源が貴重なものである場合に顕著な量の時間である場合がある。より大きな精度を得るためには、より多くの項が必要とされ、従ってより多くの時間が必要とされる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、以上の点に鑑みなされたものであって、上述した如き従来技術の欠点を解消し、超越関数を迅速に計算することが可能な技術を提供することを目的とする。本発明の利点は、本発明に基づく装置によって達成され、その場合に、テイラー級数の項が並列的に計算され且つ並列計算の後に結合されて、項当り「通常」の時間の量の約6分の1の時間が必要であるに過ぎない。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明は、超越関数を迅速に計算する方法及びシステムを提供している。好適実施例においては、（1）乗算ALUがその積に対して1項を加算させる演算を包含すべく向上されており、

（2）中間的な乗算及び加算演算に対する丸め処理をスキップし、（3）超越関数に対するテイラー級数を並列的に実施される2つの並列的な級数へ分解し、（4）存在する場合に、減算及び逆数を該計算の終りにリザーブする。適切である場合には、超越関数の範囲の一部に対しより早く収束させるために別のテイラー級数を使用する。その際に、複数個の項を有する級数を使用して計算した超越関数（例えば、 \sin , \cos , \tan , \arctan , \exp 又は \log ）は、項当り「通常」の時間量の約6分の1、即ち乗算及び加算演算が各々約3つのクロック時間かかるプロセサにおいて項当り約1つのクロック時間で演算される。

【0005】

【発明の実施の形態】以下の説明においては、本発明の好適実施例を好適な処理ステップ及びデータ構造に関して説明する。然しながら、本明細書を吟味した後に当業者によって理解されるように、本発明の実施例はプロセ

サを構成する公知の技術を使用して実現することが可能なものであり、本明細書に記載した処理ステップ及びデータ構造を実現するためにプロセッサを修正することは本発明の技術的範囲を逸脱するものではない。

【0006】浮動小数点処理ユニット

図1は超越関数を計算するための浮動小数点処理ユニットを示している。浮動小数点処理ユニット100は、入力オペランドを受取るための入力レジスタ110、乗算・加算演算を並列的に実行するための第一段121と第二段122とを具備する乗算・加算ユニット、中間値を格納するためのレジスタファイル130、超越関数を計算するために使用した定数値を格納するための格納要素140、出力レジスタ150、第一段161と第二段162と、第三段163とを具備する加算器ユニット160、逆数を計算するため（割算演算を実行するため）のニュートン（newton）要素170、制御要素180を有している。

$$\sin x = x - (1/3!)x^3 + (1/5!)x^5 - (1/7!)x^7 + \dots$$

その他の超越関数も計算のための公知の級数を有している。例えば、標準数学テーブル（STANDARD MATHEMATICAL TABLES）、第20版、454頁（CRCプレス、クリーブランド、オハイオ1972）を参照すると良い。

【0010】好適実施例においては、入力レジスタ110、レジスタファイル130、格納要素140、出力レジスタ150、本明細書に記載するその他のレジスタは、各々、例えば符号のために1ビット、指数のために15ビット、及び仮数のために64ビットを有する浮動小数点数に対するIEEEスタンダードフォーマットのような、公知の浮動小数点数フォーマットにおいて格納される浮動小数点数を格納するために配設されている32ビット、64ビット、又は80ビットレジスタを有している。

【0011】浮動小数点処理ユニット100は、制御要素180の制御下で動作し、それは制御信号を使用して浮動小数点処理ユニット100の要素間でのデータの流れを指向づける。制御信号経路は簡単化のために図1から削除してある。

【0012】レジスタファイル130は計算用の中間値を記録する。格納要素140は例えば $1/3!$ 、 $1/5!$ 等の値で計算において使用される定数値を格納する。その中に格納されるその他及び更なる実際の値は本明細書を吟味した後に当業者にとって明らかなものとなる。好適実施例においては、格納要素140はリードオンリメモリ（「ROM」）を有しており且つ計算期間中における選択した時間において必要とされる定数値を選択するために制御要素180によってアドレスされる。

【0013】乗算・加算ユニット120は第一被乗数に対し第一入力端及び第一保持用レジスタ123を有して

【0007】浮動小数点処理ユニット100は、入力レジスタ110においてオペランドを受取り、例えば三角関数（SIN, COS, TAN, SEC, CSC, COT）、逆三角関数（ARCSIN, ARCCOS, ARCTAN, ARCSEC, ARCCSC, ARCCOT）、指数関数（EXT又はLN）、双曲線三角関数（SINH, COSH, TANH, SECH, CSCH, COTH）、又は逆双曲線三角関数（ARCSINH, ARCCOSH, ARCTANH, ARCSECH, ARCCSCH, ARCCOTH）等の超越関数を計算し、且つ出力値を出力レジスタ150に供給する。

【0008】好適実施例においては、各超越関数はテイラー級数を使用して計算される。テイラー級数は超越関数を計算する当該技術分野において公知である。例えば、SIN関数は以下の級数を使用して計算することが可能である。

【0009】

$$(201)$$

おり、第二被乗数に対して第二入力端及び第二保持用レジスタ124を有しており、被加数に対して第三入力端及び第三保持用レジスタ125を有しており、且つ出力端を有している。乗算・加算ユニット120は、その被乗数を乗算して積を発生し、それをその被加数と加算させてその出力を発生する。

【0014】乗算・加算ユニット120の第一段121及び第二段122は、互いに独立的に動作し、第一段121の出力端は第二段122の入力端へ結合しており且つ第二段122の出力端は乗算・加算ユニット120の出力端へ結合している。パイプライン構成のために、乗算・加算ユニット120は2つの演算を同時に実行することが可能であり、そのうちの1つは第一段121によって処理され且つ別のものは第二段122によって処理される。

【0015】パイプライン構成の回路は当該技術分野において公知である。更に、別の実施例においては、乗算・加算ユニット120が、2つを超える数のパイプライン段を有することが可能であり（例えば、3個、4個、5個又はそれ以上の実際のパイプライン段）、その場合には、第一グループのそのパイプライン段はまとめて第一段121として取扱われ且つ第二グループのそのパイプライン段はまとめて第二段122として取扱われる。好適実施例においては、第一段121及び第二段122はそれらの機能を実行するのにほぼ等しい量の時間かかる。

【0016】好適実施例においては、乗算・加算ユニット120は結合した乗算器及び加算器回路を有している。当該技術分野において公知の如く、乗算は部分積を計算し且つこれらの部分積を加算することを包含している。例えば、乗算器に対する簡単な設計においては、第

一Mビット被乗数の各ビットを第二Nビット被乗数の各ビットと結合させてN個のMビット部分積においてM×Nビットを発生する。これらのN個のMビット部分積は、 $(N)(M) - (N+M)/2$ キャリイセーブアダプター(CSA)回路と、それに続くキャリイルックアヘッド加算器を使用して加算され、M+Nビットの和を発生する。

【0017】乗算・加算ユニット120はその2つの被乗数に対する部分積を計算する乗算回路を有している。乗算・加算ユニット120に対する被加数は、これらの部分積が加算される場合に該部分積と加法的に結合され、従ってそうでない場合に加算演算に対して必要とされる時間を節約する。

【0018】乗算・加算ユニット120は、更に、丸め処理を省略する乗算回路を有している。丸めは計算の間段において省略されており且つ最終結果についてのみ実施され、従ってそうでない場合に丸め処理のために必要とされる時間を節約している。本発明において使用されるテイラー級数を計算する方法において、テイラー級数の始めの方の項は後の方の項と比較して極めて小さく、従って、高い精度で始めの方の項を計算することは必要ではない。乗算・加算ユニット120は丸め処理を省略するので、それは、2つの段、即ち第一段121及び第二段122を有するに過ぎず、そうでない場合には丸め処理のために必要とされる第三段を有するものではない。

【0019】各超越関数を計算するための級数は2つの部分級数、即ち第一部分級数と第二部分級数とに分割される。パイプライン技術を使用して、第一段121は第一部分級数に対する項を計算し、一方第二段122は第二部分級数に対する項を計算し、且つ第一段121は第

二部分級数に対する項を計算し、一方第二段122は第一部分級数に対する項を計算する。

【0020】乗算演算の公知の方法では約3つのクロックサイクルかかり、即ち、部分積のキャリイセーブ加算を実行するために1つと、該キャリイセーブ加算演算の結果のキャリイルックアヘッド加算を実行するために1つと、その結果を丸めるために1つである。加算演算の公知の方法も約3つのクロックサイクルかかる。乗算演算と加算演算とを単一の乗算・加算演算へ結合させることにより、且つ丸め処理を省略することによって、そうでなければ6個のクロックサイクルを必要とする演算を実行するのに単に2つのクロックサイクルが必要とされるに過ぎない。乗算演算又は加算演算がより多くの又はより小さな数のクロックサイクルを必要とする場合に同様の時間的な節約が達成される。

【0021】各超越関数を計算するための級数を2つの部分級数に分解することによって、該級数の10個の項を計算するのに約11クロックサイクルが必要とされるに過ぎない(即ち、5対の項の各々に対し2つのクロックサイクル、各乗算・加算演算の第二段に対する1つのクロックサイクルだけオフセットされ、丸めを実行するため又は加算器ユニット160を使用するために多分1つ又は2つのエキストラなクロックサイクルが必要となる)。

【0022】計算方法本計算方法は各超越関数を計算するために再公式化した級数を使用する。

【0023】 x^0, x^1, x^2, x^3 を式210, 211, 212, 213に示したように定義されるものとする。

【0024】

$$\begin{aligned} x^0 &= 1 + (1/4!)x^4 + (1/8!)x^8 + (1/12!)x^{12} + (1/16!)x^{16} & (210) \\ x^1 &= x + (1/5!)x^5 + (1/9!)x^9 + (1/13!)x^{13} + (1/17!)x^{17} & (211) \\ x^2 &= (1/2!)x^2 + (1/6!)x^6 + (1/10!)x^{10} + (1/14!)x^{14} + (1/18!)x^{18} & (212) \\ x^3 &= (1/3!)x^3 + (1/7!)x^7 + (1/11!)x^{11} + (1/15!)x^{15} + (1/19!)x^{19} & (213) \end{aligned}$$

公知のテイラー級数は、以下の如く、これらの部分級数を使用して計算することが可能である。

$$\begin{aligned} \cos x &= x^0 - x^2 & (220) \\ \sin x &= x^1 - x^3 & (221) \end{aligned}$$

($\cos x$ 及び $\sin x$ の場合には、負の項は分離してある。部分シーケンス x^0, x^1, x^2, x^3 の各々は、その個々の計算に対して、加算のみを必要とし減算

$$\begin{aligned} \cosh x &= x^0 + x^2 & (222) \\ \sinh x &= x^1 + x^3 & (223) \\ \exp x &= x^0 + x^1 + x^2 + x^3 & (224) \\ \tan x &= \sin x / \cos x & (225) \end{aligned}$$

を必要とするものではない)。

【0026】

$$\text{TANH } x = \text{SINH } x / \text{COSH } x$$

(226)

級数 x_0, x_1, x_2, x_3 は有限長を有するに過ぎない。何故ならば、それらは、該プロセサに対して使用される浮動小数点表現に対する丸め誤差の限界内において、該超越関数に対する正確な値へ収束するからである。本明細書に示した特定の方程式は例示的なものであって、本明細書を吟味した後に、当業者は、異なるものであるが尚且つ有限の長さを有するその他の同様の方程式

式が異なる所要の精度で計算するために必要とされることが理解することが可能である。

【0027】級数 x_0, x_1, x_2, x_3 の各々は $y = x^4$ と設定することによって以下の如く再公式化することが可能である。

【0028】

$$x_0 = 1 + (1/4! + (1/8! + (1/12! + y/16!) y) y) y \quad (230)$$

$$x_1 = 1 + (1/5! + (1/9! + (1/13! + y/17!) y) y) x \quad (231)$$

$$x_2 = 1/2! + (1/6! + (1/10! + (1/14! + y/18!) y) y) y) x^2 \quad (232)$$

$$x_3 = 1/3! + (1/7! + (1/11! + (1/15! + y/19!) y) y) y) x^3 \quad (233)$$

このような再公式化の後に、級数 x_0, x_1, x_2, x_3 の各々はパイプライン技術を使用して計算することが可能である。例えば、関数 $\sin(x)$ は表2-1に示したように計算することが可能である。「クロック」として示した欄は、記述した演算が実行されるクロックサイクルを表わしている。「mul 1」として示した欄は、浮動小数点乗算・加算ユニット120の第一段121によって実行される演算を表わしている。同様に、「mul 2」として示した欄は、浮動小数点乗算・加算ユニット120の第二段122によって実行される演算を表わしている。各乗算・加算演算は2つのクロックサイクルを必要とするので、「mul 1」として示した欄内に表われる各演算は、常に、「mul 2」として示した欄内の次のクロックサイクルに常に表われる。

【0029】あるクロックサイクルは x （入力オペランド）の冪の計算、特に、 x^2, x^4, x^3 を表わしている。これらは乗算によって計算される。従って、 x^2 は x と x との掛算として計算され、 x^4 は x^2 と x^2 との掛算として計算され、且つ x^3 は x と x^2 との掛算として計算される。

【0030】等号記号は出力に与えられる名前を表わしており、出力は格納のためにレジスタファイル130におけるレジスタへ経路付けされ、又は更なる計算を行なうために、乗算・加算ユニット120の被乗数保持用レジスタ123又は124のうちの1つへ経路付けさせることが可能である。該レジスタ内のデータは、例えば「a」、「b」、「c」、「d」、「e」、「f」、「g」、「h」、「i」、「j」等の名前によって表わされ、これらの名前は異なる値に対して該表中において再使用することが可能である。被乗数保持用レジスタ123又は124のうちの1つへ直接的に経路付けすることは、「p」及び「q」の名前によって表わされ、これらの名前は異なる値に対して該表中において再度使用されることはなく且つ典型的に表示したテイラー級数にお

けるその名前を有する値を表わす。元の入力は名前「x」によって表わされる。

【0031】「add 1」として示した欄は、加算ユニット160の第一段161によって実行される演算を表わしている。同様に、「add 2」として示されている欄は、加算器ユニット160の第二段162によって実行される演算を表わしており、且つ「add 3」として示される欄は加算器ユニット160の第三段163によって実行される演算を表わしている。加算器ユニット160に対する各加算演算は3つのクロックサイクルを必要とするので、「add 1」として示した欄内に表われる各演算は常に「add 2」として示した欄内の次のクロックサイクル内に表われ且つ「add 3」として示した欄内のそれに続くクロックサイクルにおいて表われる。

【0032】「制御」として示した欄は制御ユニット180によって指示される演算を表わしている。演算「read rom」は、リードオンリメモリ（「ROM」）を有することの可能な格納要素150から値を読取することを意味している。1.0の値をROMから乗算・加算ユニット120へ供給することも可能であり、又は第一段121において内部的に発生させることが可能である。

【0033】表2-1に示したように、10項のテイラー級数を計算するために全部で約18個のクロックサイクルかかる。この級数は入力引き数 $|x| < \pi/4$ の値に対して十分な精度で収束する。関数 $\cos(x)$ は表2-2に示したように同様の態様で計算することが可能である。2つの関数 $\sin(x)$ 及び $\cos(x)$ は表2-3に示したように、同様の態様で、単一の演算と一緒に計算することも可能である。関数 $\tan x$ は表2-4に示したように同様の態様で計算することが可能である。関数 $\tan x$ は逆数の計算を使用する。

【0034】「ニュートン(newton)」として示

した欄は、ニュートン要素170の演算を表わしている。括弧内の値は、計算される精度のビット数を表わしている。精度のビット数が大きいとより多くの時間を必要とする。その他の超越関数が同様の態様で実現される。関数COSHx, SINHx, TANHxは、夫々、式222, 223, 226に示したように、減算する代わりに異なる部分級数を加算するという点を除いて、COSx, SINx, TANxと同一の態様で計算される。関数EXTxは、式224において示されるように、部分級数を使用するという点を除いて、COSx又はSINxと同様の態様で計算される。あるその他の超越関数は計算のために異なる級数を必要とする。

【0035】関数 $2^x - 1$ は一般的に使用する機械言語に対する命令セットにおいて使用されているという部分

$$p = x \ln(2) \quad (241)$$

$$q = (x \ln(2))^2 \quad (242)$$

$$r = (1/2!) q^2 + (1/4!) q^4 + (1/6!) q^6 + (1/8!) q^8 + (1/10!) q^{10} + (1/12!) q^{12} + (1/14!) q^{14} + (1/16!) q^{16} + (1/18!) q^{18} \quad (243)$$

$$s = 1 + (1/3!) q^3 + (1/5!) q^5 + (1/7!) q^7 + (1/9!) q^9 + (1/11!) q^{11} + (1/13!) q^{13} + (1/15!) q^{15} + (1/17!) q^{17} + (1/19!) q^{19} \quad (244)$$

関数 $(2^x) - 1$ は以下の如くこれらの部分級数を使用して計算することが可能である。

【0038】

$$(2^x) - 1 = r - s \quad (245)$$

級数 x_0, x_1, x_2, x_3 と同様に、級数 r 及び s は有限の長さを有するに過ぎない。何故ならば、それらは、該プロセサに対して使用される浮動小数点表現に対する丸め誤差の限界内において、該超越関数に対する正

確な値へ収束するからである。

【0039】級数 r 及び s の各々は以下の如くに再公式化させることが可能である。

【0040】

$$r = (1/2! + (1/4! + (1/6! + (1/8! + (1/10! + (1/12! + (1/14! + (1/16! + p/18!) p) p) p) p) p) p) p \quad (251)$$

$$s = (1 + 1/3! + (1/5! + (1/7! + (1/9! + (1/11! + (1/13! + (1/15! + (1/17! + p/19!) p) p) p) p) p) p) p) q \quad (252)$$

関数 $(2^x) - 1$ は、従って、表2-5に示したように計算することが可能である。

イラー級数が式261におけるように示される。

【0042】

【0041】関数ARCTANxの場合には、通常のテ

$$\text{ARCTAN} x = x - (1/3) x^3 + (1/5) x^5 - (1/7) x^7 + (1/9) x^9 \dots \quad (261)$$

y_0 及び y_1 を夫々式262及び263に示したように定義するものとする。

$$y_0 = 1 + (1/5 + (1/9 + (1/13 + (1/17 + (1/21 + (1/25 + (1/29 + (1/33 + (1/37 + (1/41 + (1/45 + (1/49 + (1/53 + (1/57 + (1/61 + (1/65 + (1/69 + p/73) p) p) p) p) p) p) p) p) p) p) p) p) p) p \quad (262)$$

$$y_1 = 1/3 + (1/7 + (1/11 + (1/15 + (1/19 + (1/23 + (1/27 + (1/31 + (1/35 + (1/39 +$$

の如くに計算することが可能である。

尚、 $p = x^4$ である。

たように、計算することが可能である。

【0044】この級数は、 $x < x < 1/r$ であり、尚 $r = \text{SQRT}(3)$ 、即ち3の平方根である場合に、迅速な計算に対して十分に高速に収束する。従って、関数 $\text{ARCTAN}(x)$ は、 $0 < x < 1/\text{SQRT}(3)$ の範囲に入る入力オペランド x の値に対し、表2-6に示し

【0045】然しながら、 $1/r < x < 1$ である場合には、 $\text{ARCTAN } x$ に対する別の級数がより高速な収束のために好適である。

【0046】

尚、 $y = (r/2) (x - (1/r))$ である。

7に示したように定義されるものとする。

【0047】 w1及びw2を、夫々、式266及び26 【0048】

[illegible]

尚、 $q = y^3$ である。

らの部分級数を使用して計算することが可能である。

【0049】式265の級数は、以下の如くにしてこれ

$$\text{ARCTAN } x = \pi/6 + (w_1) (y_r/2) - \frac{(w_1) (y_r^2/2)}{(268)}$$

式268は表2-7に示したように計算される。

数は、級数を使用して決定することの可能な他の超越関数である。入力引き数 (x) は (b) (2^q) として表わされ、その場合に、q は整数であり且つ $1/16 < q < 23/16$ であり、整数 q は正、零又は負となることが可能である。パラメータ (p) に対するこれらの限界はそれらが以下の範囲と同様であるために選択される。

【0051】入力オペランド $x > 1 / \text{SQRT}(3)$ の値に対して、入力オペランド x を反転し且つ等価性 $\text{ARCTAN} 1/x = 1 / (\text{ARCTAN } x)$ を使用して、 $\arctan(x)$ を計算することが可能である。同様に、入力オペランド $x < 0$ の値に対して、等価性 $\text{ARCTAN}(-x) = -(\text{ARCTAN } x)$ を使用して、 $\text{ARCTAN}(x)$ を計算することが可能である。

【0053】

【0052】関数 $\lg(x)$ 、即ち2を底とする x の対

$$-(1 - \text{SQRT}(2)/2) < x < \text{SQRT}(2) - 1 \quad (269)$$

従って、

$$\lg x = q + \lg p$$

$$= q + \ln p / \ln 2$$

$$\equiv q+1. \quad 442695 \mid np$$

尚、 $\ln(p)$ は p の自然対数である。

【0054】従って、 $\ln p = 2(U + V)$ であり、尚
U及びVは夫々式271及び272におけるようにして
決定される。

【0055】

$$\begin{aligned}
 U &= r + r^5/5 + r^9/9 + r^{13}/13 + r^{17}/17 + r^{21}/21 + \\
 &\quad r^{25}/25 \\
 &= (1 + (1/5 + (1/9 + (1/13 + (1/17 + (1/21 + \\
 &\quad t/25) t) t) t) t) r \quad (271)
 \end{aligned}$$

【0056】

(2 7 2)

< 0 の値に対しては定義されていない。

【0058】関数 $\ln(x+1)$ の場合には、通常のテイラー級数が式 281 において示されている。

(2 8 1)

定義するものとする。

(282)

【0060】

(2 8 3)

QRT (2)) - 1 の範囲内に入る。注意すべきことであるが、 $x < 1/4$ の場合に、精度が失われるので x に対して値を加算しないことが望ましい。

【0062】従って、

(2 8 4)

である。何故ならば、精度の損失はそれ程強い考慮事項ではないからである。

【0064】U及びVを式291及び292におけるように定義されるものとする。

(2 9 1)

【0066】

(2 9 2)

SQRT (2) - 1 の範囲内に入る入力引き数 (x) の値に対して収束する。

【0068】従って、関数 $\lg(x+1)$ は入力オペラ

ンド $x < 1/4$ の値に対して表2-9に示したように計算することが可能であり、且つ入力オペランド $x > 1/4$ の値に対して表2-10に示したように計算することが可能である。

【0069】シミュレーション及び実験結果

表3-1は超越関数を計算するための1組の実験的待ち時間を示しており、本発明に基づく浮動小数点ユニットを包含するプロセッサに対する待ち時間を、カリフォルニア州サンタクララのインテルコーポレイションから入手可能な「ペンチウム (Pentium)」プロセッサと比較している。表3-1に示されるように、本発明に基づ

く浮動小数点ユニットは殆どの場合にペンチウムプロセッサよりも一層高速である。

【0070】「命令」として示した欄はテストした命令のタイプを表わしている。「待ち時間」と示した欄は、各タイプのプロセッサに対しクロックサイクルにおける待ち時間を示している。示されている2つの数字は待ち時間に対する下限と上限である。「差」として示されている欄は、本発明に基づく浮動小数点ユニットとして比較してペンチウムプロセッサによって必要とされる付加的な時間である。

【0071】

表3-1

命 令	待ち時間 (ペンチウム)	待ち時間 (本発明)	差
$(2x) - 1$	54. . 60	54. . 54	0
$\cos(x)$	59. . 126	34. . 66	25
$\sin(x)$	59. . 126	36. . 66	23
$\sin(x)$	83. . 138	54. . 84	29
及び $\cos(x)$			
$\arctan(x)$	98. . 137	96. . 116	2
$\tan(x)$	115. . 174	60. . 90	55
$\lg(x)$	104. . 114	70. . 70	34
$\lg(x+1)$	103. . 106	76. . 78	27

その他の超越関数も時間の節約を有している。

明細書を吟味した後で当業者にとって自明なものとなるものである。

【0072】別の実施例

本明細書においては好適実施例について開示したが、多くの変形例が可能であり、それは本発明の概念、範囲及び精神の範囲内に入るものであり、これらの変形例は本

【0073】

【表2-1】

表2-1 $|x| < \pi/4$ に対する $\sin(x)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	$x*x$						
2		$x*x$					
3	$x**4$						read rom for 1/19!=a
4	$x**3$	$x**4=p$					read rom for 1/17!=b
5	$ap+c$	$x**3=q$					read rom for 1/15!=c
6	$bp+d$	$ap+c=r$					read rom for 1/13!=d
7	$cp+e$	$bp+d=s$					read rom for 1/11!=e
8	$sp+f$	$cp+e=t$					read rom for 1/9!=f
9	$tp+g$	$sp+f=u$					read rom for 1/7!=g
10	$up+h$	$tp+g=v$					read rom for 1/5!=h
11	$vp+i$	$up+h=w$					read rom for 1/3!=i
12	$wp+l$	$vp+i=m$					
13	mq	$wp+l=n$					
14	nx	mq					
15		nx					
16			$nx-mq$				
17				$nx-mq$			
18					$nx-mq \Rightarrow$ output, change sign if needed		

【0074】

【表2-2】

表2-2 $|x| < \pi/4$ に対する $\cos(x)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	$x*x$						
2		$x*x=q$					read rom for 1/18!=a
3	$x**4$						read rom for 1/16!=b
4		$x**4=p$					read rom for 1/14!=c
5	$ap+c$						read rom for 1/12!=d
6	$bp+d$	$ap+c=r$					read rom for 1/10!=e
7	$rp+e$	$bp+d=s$					read rom for 1/8!=f
8	$sp+f$	$rp+e=t$					read rom for 1/6!=g
9	$tp+g$	$sp+f=u$					read rom for 1/4!=h
10	$up+h$	$tp+g=v$					read rom for 1/2!=i
11	$vp+i$	$up+h=w$					
12	$wp+l$	$vp+i=m$					
13	mq	$wp+l=n$					
14		mq					
15			$n-mq$				
16				$n-mq$			
17					$n-mq \Rightarrow$ output		

【0075】

【表2-3】

表2-3 $|x| < \pi/4$ に対する $\sin \cos(x)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	$x*x$						
2		$x*x=q$					read rom for 1/18!=a
3	$x**4$						read rom for 1/16!=b
4	$x**3$	$x**4=p$					read rom for 1/14!=c
5	$ap+c$	$x**3=r$					read rom for 1/12!=d
6	$bp+d$	$ap+c=r$					read rom for 1/10!=e
7	$rp+e$	$bp+d=s$					read rom for 1/8!=f
8	$sp+f$	$rp+e=t$					read rom for 1/6!=g
9	$tp+g$	$sp+f=u$					read rom for 1/4!=h
10	$up+h$	$tp+g=v$					read rom for 1/2!=i
11	$vp+i$	$up+h=w$					read rom for 1/19!=a
12	$wp+l$	$vp+i=m$					read rom for 1/17!=b
13	mq	$wp+l=n$					read rom for 1/15!=c
14	$ap+c$	mq					read rom for 1/13!=d
15	$bp+d$	$ap+c=r$	$n-mq$				read rom for 1/11!=e
16	$rp+e$	$bp+d=s$		$n-mq$			read rom for 1/9!=f
17	$sp+f$	$rp+e=t$			$n-mq \Rightarrow$ output $\cos(x)$		read rom for 1/7!=g
18	$tp+g$	$sp+f=u$					read rom for 1/5!=h
19	$up+h$	$tp+g=v$					read rom for 1/3!=i
20	$vp+i$	$up+h=w$					
21	$wp+l$	$vp+i=m$					
22	mx	$wp+l=n$					
23	mx	mx					
24		mx					
25			$mx-mz$				
26				$mx-mz$			
27					$mx-mz \Rightarrow$ output $\sin(x)$, change sign if needed		

【0076】

【表2-4】

表 2-4 $|x| < \pi/4$ に対する $\tan(x)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	$x*x$						
2		$x*x=q$					read rom for 1/18!=a
3	$x**4$						read rom for 1/16!=b
4	$x**3$	$x**4=p$					read rom for 1/14!=c
5	$sp+c$	$x**3=z$					read rom for 1/12!=d
6	$bp+d$	$ap+c=r$					read rom for 1/10!=e
7	$rp+e$	$bp+d=s$					read rom for 1/8!=f
8	$sp+f$	$rp+e=t$					read rom for 1/6!=g
9	$tp+g$	$sp+f=u$					read rom for 1/4!=h
10	$up+h$	$tp+g=v$					read rom for 1/2!=i
11	$vp+i$	$up+h=w$					read rom for 1/19!=a
12	$wp+l$	$vp+i=m$					read rom for 1/17!=b
13	xq	$wp+l=n$					read rom for 1/15!=c
14	$ap+c$	xq					read rom for 1/13!=d
15	$bp+d$	$ap+c=r$		$n-xq$			read rom for 1/11!=e
16	$rp+e$	$bp+d=s$			$n-xq$		read rom for 1/9!=f
17	$sp+f$	$rp+e=t$				$n-xq=a$	Represent 1/a as b
18	$tp+g$	$sp+f=u$	$b(9)$				read rom for 1/7!=g
19	$up+h$	$tp+g=v$	$b(18)$				read rom for 1/5!=h
20	$vp+i$	$up+h=w$	$b(36)$				read rom for 1/3!=i
21	$wp+l$	$vp+i=m$	$b(36)$				
22	mx	$wp+l=n$	$b(66)$				
23	nx	mx	$b(66)$				
24		nx	$b(66)$				
25			$b(66)$	$nx-mx$			
26					$nx-mx$		
27						$nx-mx=c$	
28	$c*b(66)$						
29		$c*b(66)$					
30			$c*b(66)$	in mul3 => output			

【0077】

【表 2-5】

表2-5 $|x| < 1, 0$ に対する $(2^*) - 1$ の実施例

全超越関数の第1クロックは、どの超越関数を実行すべきか及び入力ほどの範囲かを決定するために制御論理によって使用される。使用することが可能である場合には、乗算ユニットにおいて $x * x$ が実行される。又、ROMはクロック0とクロック1の両方において読み取られ、それらを使用することが可能である場合には、 $\ln(2) ** 2$ 及び $\ln(2)$ の値を得る。

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
0							read rom for $\ln(2)$
1	$x * x$						read rom for $\ln(2) ** 2 = y$
2	$x * \ln(2)$	$x * x$					read rom for $1/13! = a$
3	$x ** 2 * y$	$x * \ln(2) = q$					read rom for $1/18! = b$
4		$x ** 2 * y - p$					read rom for $1/17! = c$
5	$ap + c$						read rom for $1/16! = d$
6		$ap + c = r$					read rom for $1/15! = e$
7	$bp + d$	$bp + d = s$					read rom for $1/14! = g$
8	$cp + e$	$cp + e = t$					read rom for $1/13! = g$
9	$tp + g$	$tp + g = u$					read rom for $1/12! = h$
10	$up + h$	$up + h = v$					read rom for $1/11! = i$
11	$vp + i$	$vp + i = w$					read rom for $1/10! = a$
12	$wp + a$	$wp + i = z$					read rom for $1/9! = b$
13	$xp + b$	$xp + a = r$					read rom for $1/8! = c$
14	$sp + c$	$xp + b = s$					read rom for $1/7! = d$
15	$sp + d$	$sp + c = t$					read rom for $1/6! = e$
16	$tp + e$	$sp + d = u$					read rom for $1/5! = g$
17	$up + f$	$tp + e = v$					read rom for $1/4! = g$
18	$vp + g$	$up + f = w$					read rom for $1/3! = h$
19	$wp + h$	$vp + g = z$					read rom for $1/2! = i$
20	$sp + i$	$wp + h = r$					
21	$rp + i$	$sp + i = m$					
22	ap	$rp + i = n$					
23	aq	ap					
24		aq					
25			$mp + dq$				
26				$mp + dq$			
27					$mp + dq \Rightarrow \text{output}$		

【0078】

【表2-6】

表2-6 $|x| < 1/\text{SQRT}(3)$ に対する $\text{ArcTan}(x)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						
2		x*x					read rom for 1/73=a
3	x**4						read rom for 1/71=b
4	x**3	x**4-p					read rom for 1/69=c
5	ap+c	x**3 =q					read rom for 1/67=d
6	bp+d	sp+c=r					read rom for 1/65=e
7	rp+a	bp+d=s					read rom for 1/63=f
8	sp+f	rp+c=t					read rom for 1/61=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/59=h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/57=i
11	vp+i	up+h=w					read rom for 1/55=j
12	wp+j	vp+i=m					read rom for 1/53=a
13	xp+a	wp+j=n					read rom for 1/51=b
14	np+b	xp+a=r					read rom for 1/49=c
15	rp+c	np+b=s					read rom for 1/47=d
16	sp+d	rp+c=t					read rom for 1/45=e
17	tp+e	sp+d=u					read rom for 1/43=f
18	up+f	tp+e=v					read rom for 1/41=g
19	vp+g	up+f=w					read rom for 1/39=h
20	wp+h	vp+g=m					read rom for 1/37=i
21	xp+i	wp+h=n					read rom for 1/35=j
22	np+j	xp+i=r					read rom for 1/33=a
23	rp+a	np+j=s					read rom for 1/31=b
24	sp+b	rp+a=r					read rom for 1/29=c
25	tp+c	sp+b=u					read rom for 1/27=d
26	up+d	tp+c=v					read rom for 1/25=e
27	vp+e	up+d=w					read rom for 1/23=f
28	wp+f	vp+e=m					read rom for 1/21=g
29	xp+g	wp+f=n					read rom for 1/19=h
30	np+h	xp+g=r					read rom for 1/17=i
31	rp+i	np+h=s					read rom for 1/15=j
32	sp+j	rp+i=t					read rom for 1/13=a
33	tp+a	sp+j=u					read rom for 1/11=b
34	up+b	tp+a=v					read rom for 1/9=c
35	vp+c	up+b=w					read rom for 1/7=d
36	wp+d	vp+c=m					read rom for 1/5=e
37	xp+e	wp+d=n					read rom for 1/3=f
38	np+f	xp+e=r					
39	np+l	xp+f=s					
40	sq	xp+l=t					
41	tx	sq=a					
42		tx =b					
43			b-a				
44				b-a			
45					b-a -> output		change sign if x < 0

【0079】

【表2-7】

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1				Represent $3^{**}(1/2)$ as k and			read rom for 1/k
2				$ x -1/k$			read rom for k/2
3					$ x -1/k=y$		
4						$ x -1/k=y$	
5	y*y						
6	y*k/2	y*y					read rom for 1/47=a
7	y**3	y*k/2=L					read rom for 1/46=b
8	y*y*k/2	y**3=p					read rom for 1/44=c
9	ap+c	y*y*k/2-q					read rom for 1/43=d
10	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/41=e
11	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/40=f
12	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/38=g
13	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/37=h
14	up+h	tp+g=v					read rom for 1/35=i
15	vp+i	up+h=w					read rom for 1/34=j
16	wp+j	vp+i=x					read rom for 1/32=a
17	ap+a	wp+j=n					read rom for 1/31=b
18	ap+b	ap+a=r					read rom for 1/29=c
19	rp+c	ap+b=s					read rom for 1/28=d
20	sp+d	rp+c=t					read rom for 1/26=e
21	tp+e	sp+d=u					read rom for 1/25=f
22	up+f	tp+e=v					read rom for 1/23=g
23	vp+g	up+f=w					read rom for 1/22=h
24	wp+h	vp+g=x					read rom for 1/20=i
25	ap+i	wp+h=n					read rom for 1/19=j
26	ap+j	ap+i=r					read rom for 1/17=a
27	rp+a	ap+j=s					read rom for 1/16=b
28	sp+b	rp+a=r					read rom for 1/14=c
29	tp+c	sp+b=u					read rom for 1/13=d
30	up+d	tp+c=v					read rom for 1/11=e
31	vp+e	up+d=w					read rom for 1/10=f
32	wp+f	vp+e=x					read rom for 1/8=g
33	ap+g	wp+f=n					read rom for 1/7=h
34	ap+h	ap+g=r					read rom for 1/5=i
35	rp+i	ap+h=s					read rom for 1/4=j
36	sp+j	rp+i=t					read rom for 1/2=a
37	tp+a	sp+j=u					
38	up+l	tp+a=v					
39	vq	up+l					
40	CL	vq=a					read rom for pi/6
41		CL=b	pi/6-a				
42				pi/6-a			
43					pi/6-a		
44			b*pi/6-a				
45				b*pi/6-a			
46					b*pi/6-a -> output,		change sign if x < 0

【表 2-8】

表 2-8 $0 < x$ に対する $\lg(x)$ の実施例Express x as $x = (2^{**}q) * p$ where $11/16 < p < 23/16$

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1			determine p+1 and q from x and represent $1/(p+1)$ as z				
2			z(9)				read rom for 2
3			z(18)	(p+1)-2			
4			z(36)		(p+1)-2		read rom for $1/\ln(2)-c$
5			z(36)	float q		(p+1)-2-z	
6			z(66)		float q		
7	2t		z(66)			float q=z	
8		2t	z(66)				
9	st		z(66)				
10	rz	st=w					
11		rz=h					
12	h**2						
13	2th	h**2					read rom for $1/25=a$
14	h**4	2th=o					read rom for $1/23=b$
15	h**3	h**4=rc					read rom for $1/21=c$
16	ar+c	h**3=g					read rom for $1/19=d$
17	br+d	ar+c=i					read rom for $1/17=e$
18	ir+e	br+d=j					read rom for $1/15=f$
19	jr+f	ir+e=k					read rom for $1/13=a$
20	kr+a	jr+f=l					read rom for $1/11=b$
21	lr+b	kr+a=m					read rom for $1/9=c$
22	nr+c	lr+b=n					read rom for $1/7=d$
23	or+d	nr+c=i					read rom for $1/5=e$
24	ir+e	or+d=j					read rom for $1/3=f$
25	jr+f	ir+e=k					
26	kr+l	jr+f=l					
27	lg	kr+l=m					
28	no	lg					
29	2tlg	no=a					
30		2tlg=b		a+v			
31					a+v		
32						a+v	
33				b+a+v			
34					b+a+v		
35						b+a+v => output	

【0081】

【表 2-9】

表2-9 $|x| < 1/4$ に対する $\lg(x+1)$ の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						read rom for 1/30=a
2		x*x=p					read rom for 1/29=b
3							read rom for 1/28=c
4	ap+c						read rom for 1/27=d
5	bp+d	ap+c=i					read rom for 1/26=e
6	ip+e	bp+d=j					read rom for 1/25=f
7	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/24=g
8	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/23=b
9	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/22=c
10	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/21=d
11	np+d	mp+c=i					read rom for 1/20=e
12	ip+e	np+d=j					read rom for 1/19=f
13	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/18=a
14	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/17=b
15	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/16=c
16	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/15=d
17	np+d	mp+c=i					read rom for 1/14=e
18	ip+e	np+d=j					read rom for 1/13=f
19	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/12=a
20	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/11=b
21	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/10=c
22	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/9=d
23	np+d	mp+c=i					read rom for 1/8=e
24	ip+e	np+d=j					read rom for 1/7=f
25	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/6=a
26	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/5=b
27	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/4=c
28	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/3=d
29	np+d	mp+c=i					read rom for 1/2=g
30	ip+e	np+d=j					
31	jp+f	ip+e=k					
32	kp	jp+f=l					
33	lx	kp=a					read rom for 1/ln(2)=x
34	mx	lx=a					
35	nz	mx=a					
36		nz=b					
37			b-a				
38				b-a			
39					b-a => output		

【0082】

【表2-10】

表2-10 $1/4 < |x|$ に対する $\lg(x+1)$ の実施例Express $x+1$ as $x+1 = (2^{**q}) * p$ where $11/16 < p < 23/16$

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1				x+1			
2				x+1			
3							
4							x+1=x (new x is old x plus one)
5				determine p+1 and q from new x			Represent 1/(p+1) as z
6				z(9)			read rom for 2
7				z(17)			
8				z(33)			read rom for 1/ln(2)=t
9				z(33)	float q		
10				z(56)	float q		
11	2t			z(56)		float q=s	
12	st	2t		z(56)			
13	xz	st=vy		z(56)			
14		xz=h					
15	h**2						
16	2th	h**2					read rom for 1/25=a
17	h**4	2th=o					read rom for 1/23=b
18	h**3	h**4=r					read rom for 1/21=c
19	ar+c	h**3=g					read rom for 1/19=d
20	br+d	ar+c=i					read rom for 1/17=e
21	ir+e	br+d=j					read rom for 1/15=f
22	jr+f	ir+e=k					read rom for 1/13=g
23	kr+g	jr+f=l					read rom for 1/11=h
24	lr+b	kr+g=m					read rom for 1/9=i
25	mr+c	lr+b=n					read rom for 1/7=d
26	nr+d	mr+c=i					read rom for 1/5=e
27	ir+e	nr+d=j					read rom for 1/3=f
28	jr+f	ir+e=k					
29	kx+1	jr+f=l					
30	lg	kr+l=m					
31	mo	lg					
32	2lg	mo=a					
33		2lg=b		a+v			
34					a+v		
35						a+v	
36				b+a+v			
37					b+a+v		
38						b+a+v => output	

【0083】以上、本発明の具体的実施の態様について詳細に説明したが、本発明は、これら具体例にのみ限定されるべきものではなく、本発明の技術的範囲を逸脱することなしに種々の変形が可能であることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に基づいて超越関数を計算するための浮動小数点処理ユニットを示した概略ブロック図。

【符号の説明】

- 100 浮動小数点処理ユニット
- 110 入力レジスタ
- 120 乗算・加算ユニット

- 121 第一段
- 122 第二段
- 130 レジスタファイル
- 140 格納要素
- 150 出力レジスタ
- 160 加算器ユニット
- 161 第一段
- 162 第二段
- 163 第三段
- 170 ニュートン要素
- 180 制御要素

【図1】

